

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-146020

(43)Date of publication of application : 06.06.1995

(51)Int.Cl.

F25B 9/00  
F25B 9/14

(21)Application number : 05-291869

(71)Applicant : SUMITOMO HEAVY IND LTD

(22)Date of filing : 22.11.1993

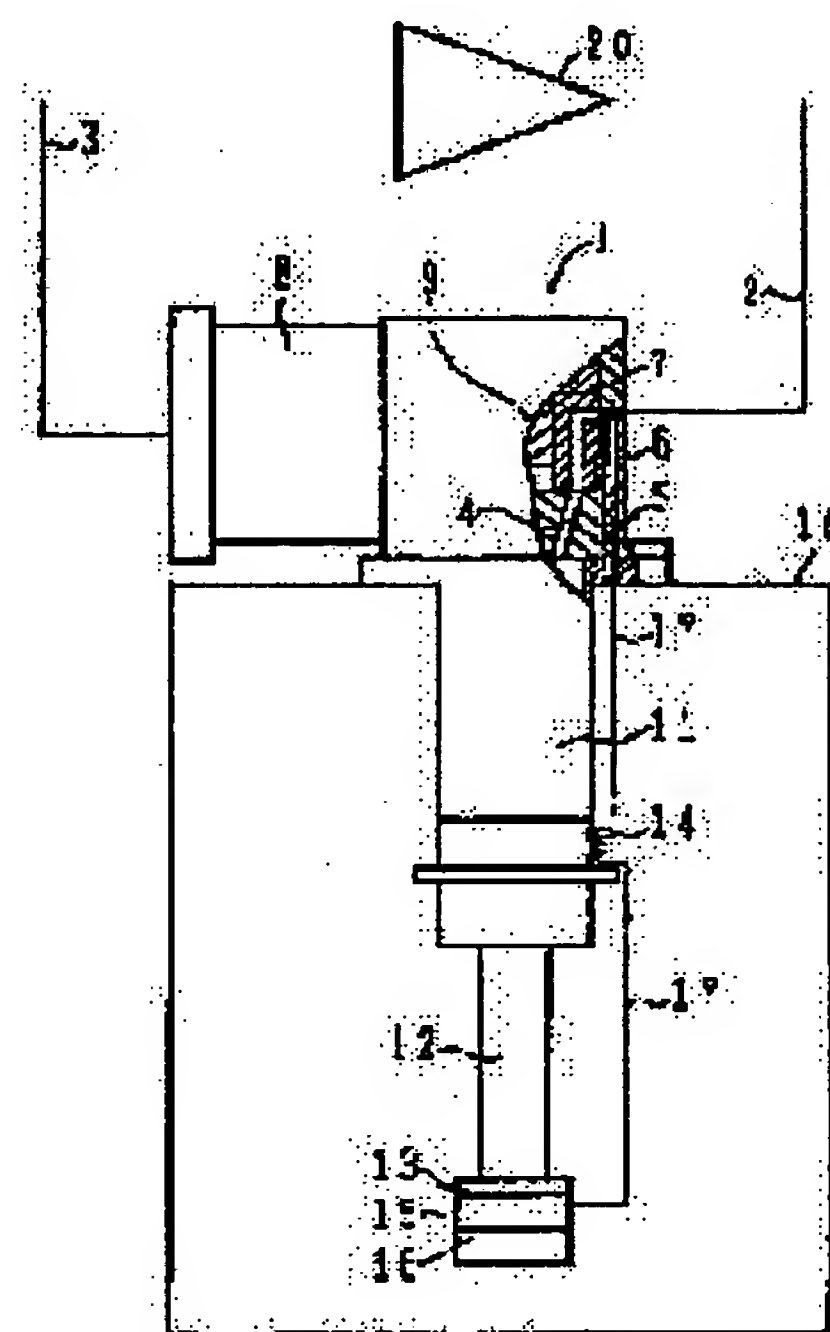
(72)Inventor : RI TAMA  
KANAZAWA KATSUAKI

## (54) CRYOGENIC REFRIGERANT

## (57)Abstract:

PURPOSE: To eliminate the need to install a gas supply source outside the device by installing a cold storage means which houses He gas or the like to a cooling part wherein an article to be cooled is held and restraining temperature fluctuations in the cooling unit and connecting the cold storage means to an He gas supply and removal means at the same time.

CONSTITUTION: A compressor 20 discharges He gas from a refrigerator 1 by way of a low pressure side-pipeline 3 and compresses the gas and then introduces the He gas into the refrigerator 1 by way of a high pressure side-pipeline 2. Two stage cold storage units 11 and 12 are installed in a vacuum vessel 10 of the refrigerator 1. A He gas pot 15, which holds a cooled article 16, is mounted to a cooling stage 13 at the tip of the second stage cold storage unit 12. The high pressure side-pipeline 2 and the low pressure side-pipeline 3 are connected to the first cooling unit 11 by way of a valve 7 and a gas flow passage 4. Furthermore, the valve 7 is on/off driven by a motor 8 by way of a shaft 9. A gas flow passage 5, which is connected to the high pressure side-pipeline 2, is formed in a housing 6, which is connected to the He gas pot 7 by way of an He gas introduction small-sized pipe 17.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 11.09.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2773793

[Date of registration] 24.04.1998

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-146020

(43)公開日 平成7年(1995)6月6日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

F 2 5 B 9/00  
9/14

識別記号

D  
5 3 0 Z

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平5-291869

(22)出願日 平成5年(1993)11月22日

(71)出願人 000002107

住友重機械工業株式会社  
東京都品川区北品川五丁目9番11号

(72)発明者 李 瑞

神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重  
機械工業株式会社平塚研究所内

(72)発明者 金沢 克明

神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重  
機械工業株式会社平塚研究所内

(74)代理人 弁理士 高橋 敬四郎 (外1名)

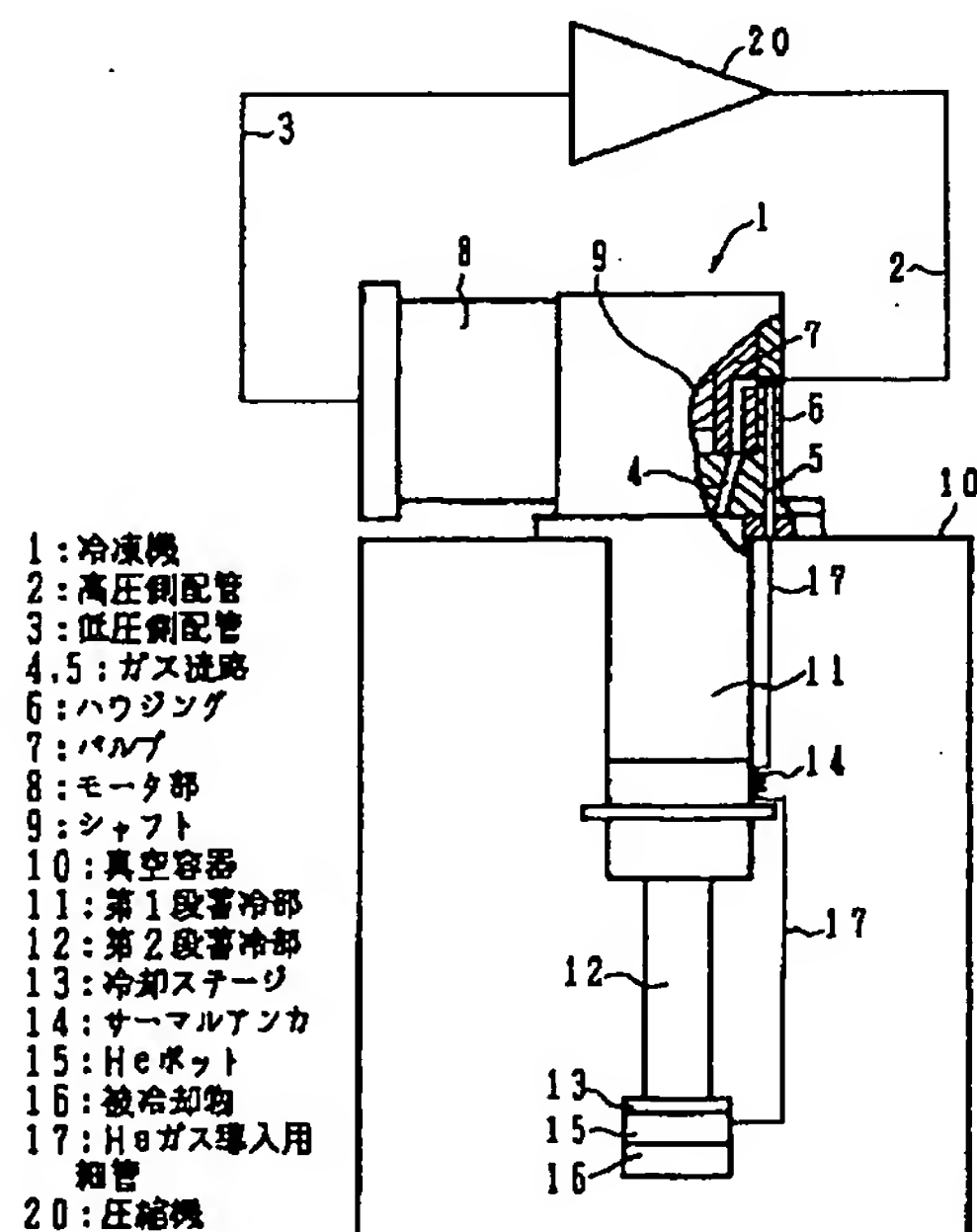
(54)【発明の名称】 極低温冷凍機

(57)【要約】

【目的】 冷却部の温度変化の振幅が小さく、かつ操作方法が簡単で安全性に優れた極低温冷凍機を提供する。

【構成】 ヘリウムガスを膨張させて寒冷を発生させる膨張室と、前記膨張室に圧縮されたヘリウムガスを供給するためのガス供給手段と、前記膨張室からヘリウムガスを排出するためのガス排出手段と、被冷却物を取り付ける冷却部に設けられた、内部にヘリウムガスまたはヘリウムガスと液体ヘリウムを収納する蓄冷手段と、前記ガス供給手段と前記蓄冷手段とを接続するヘリウムガス導入排出手段とを含む。

本発明の第1の実施例



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 圧縮ヘリウムガスを生成する圧縮手段と、  
ヘリウムガスを膨張させて寒冷を発生させる膨張室と、  
前記膨張室に圧縮されたヘリウムガスを供給するための  
ガス供給手段 (2) と、  
前記膨張室からヘリウムガスを排出するためのガス排出  
手段 (3) と、  
被冷却物を取り付ける冷却部に設けられた、内部にヘリ  
ウムガスまたはヘリウムガスと液体ヘリウムを収納する  
蓄冷手段 (15) と、  
前記ガス供給手段または前記ガス排出手段と前記蓄冷手  
段とを接続するヘリウムガス導入排出手段 (5、17)  
とを含む極低温冷凍機。

【請求項 2】 さらに、前記蓄冷手段に収容されたヘリ  
ウムガスの温度を測定するための温度測定手段 (22)  
と、

前記ヘリウムガス導入排出手段の途中に設けられた減圧  
弁 (24) と、

前記温度測定手段の測定結果が入力され、所定の温度に  
保持されるように前記減圧弁を制御するための制御手段  
(23) とを含む請求項 1 記載の極低温冷凍機。

【請求項 3】 さらに、前記蓄冷手段に収容された液体  
ヘリウムの液面の高さを測定するための液面位測定手段  
(25) が設けられており、

前記制御手段には、さらに、前記液面位測定手段の測定  
結果が入力され、液面が所定の高さに保持されるように  
前記減圧弁を制御する請求項 2 記載の極低温冷凍機。

【請求項 4】 真空容器 (10) 内に配置された膨張室  
内のヘリウムガスを膨張させて寒冷を発生させる極低温  
冷凍機において、

膨張室に圧縮されたヘリウムガスを供給するためのガス  
供給手段と、

前記膨張室からヘリウムガスを排出するためのガス排出  
手段と、

被冷却物を取り付ける冷却部に設けられた、内部にヘリ  
ウムガスまたはヘリウムガスと液体ヘリウムを収納する  
蓄冷手段と、

前記真空容器内に配置された、前記蓄冷手段の容積の少  
なくとも 10 倍以上の容積を持ち、内部にヘリウムガス  
を収容するヘリウムガス収容手段 (21) と、

前記ヘリウムガス収容手段と前記蓄冷手段とを接続する  
ヘリウムガス導入排出手段とを含む極低温冷凍機。

【請求項 5】 前記膨張室は、被冷却物を冷却する目標  
温度と室温との中間の温度まで冷却するための第 1 の膨  
張室と、前記目標温度まで冷却するための第 2 の膨張室  
とを含み、

前記ヘリウムガス導入排出手段には、前記第 1 の膨張室  
と熱交換を行うための熱交換手段が設けられている請求  
項 1 ~ 4 のいずれかに記載の極低温冷凍機。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、極低温冷凍機に関し、  
特に温度安定性の高い極低温冷凍機に関する。赤外セン  
サ、SQUID 素子または超電導磁石等の冷却におい  
て、冷却温度の変動幅が 0.1 K 以下の安定性が求めら  
れる。

## 【0002】

【従来の技術】従来、極低温において、極めて安定な冷  
却温度を必要とする場合には、液体ヘリウムを使用する  
かまたは冷凍機の冷却部に熱浴 (寒冷浴) として大きな  
固体材料ブロックを密着させて、温度の変動振幅を吸収  
する方法が採られていた。

【0003】しかし、液体ヘリウムを使用する方法で  
は、液体の注入、蒸発または再凝縮等の制御のためのシ  
ステム構成や運転操作が複雑になり、コストも高いとい  
う欠点がある。

【0004】また、Cu、Al 等の固体材料ブロックを  
冷却部に密着させる方法は、以下のような欠点がある。

図 8 は、Cu、Al、及び He の温度に対する比熱の変  
化を示す。横軸は絶対温度を、縦軸は比熱を単位 J / c  
m<sup>3</sup> · K で表す。点線 b1、b2 はそれぞれ Cu、Al  
の比熱の変化を示す。図に示すように、Cu、Al の比  
熱は、温度の低下とともに単調に減少し、温度 4 K 付近  
では室温におけるときと比較して 1 / 1000 以下に減  
少する。このため、蓄冷器として使用するためには極め  
て大きな体積の Cu または Al を必要とする。

【0005】従って、装置全体の構成も大きくなり、か  
つ室温からの予冷にも余分なエネルギーと時間が必要とな  
る。さらに、体積が大きくなると、その支持が困難にな  
り、かつ冷却部と被冷却部との熱伝導も悪くなり、冷却  
部と被冷却部の温度差が大きくなるという問題がある。

【0006】上記問題を解決して冷凍機の冷却部の温  
度変化を抑制する方法として、He ガスの熱容量を利用  
する方法が実開昭 62-115060 及び特開平 3-1  
053 に開示されている。

【0007】図 8 に示す曲線 a1、a2、a3、a4、  
a5、a6 はそれぞれ圧力が 1 気圧、2 気圧、3 気圧、  
5 気圧、10 気圧、20 気圧のときの He の比熱の温度  
に対する変化を示す。室温から温度を低下させると He  
の比熱は徐々に増加し、圧力によって若干の相違はある  
が、4 K ~ 10 K 近傍で極大値を示す。それ以下に温度  
を低下すると、比熱は緩やかに減少する。

【0008】例えば、温度 4 K における He の比熱は約  
0.4 J / cm<sup>3</sup> · K であり、室温における Cu、Al  
等の比熱よりも一桁小さい程度である。従って、4 K 付  
近における蓄冷用材料としては、Cu、Al 等の固体材  
料よりも He の方が適している。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】上記の実開昭 62-1



15060に開示されている方法は、冷却部に密着して設けたHeポットに高压のHeガスを密閉する方法である。温度の変動を十分に吸収するためには、温度10K以下において数気圧程度のガス圧が必要である。従って、このHeポットを密閉状態のまま室温に戻すと、ポット内のガスは百気圧を越える圧力になる。このため、冷凍機の運転を停止したときに超高压のHeガスを装置内に保存することになり安全性に問題がある。

【0010】特開平3-1053に開示されている方法は、Heポットが密閉状態ではなく、冷却時にHeポットへHeガスを導入する。従って、冷凍機の運転停止時にHeガスを放出または回収するので高压のまま保存する必要はない。HeポットへのHeガスの導入方法については記載されていないが、一般的にはHeガスポンプ等から減圧弁を通じて導入されるものと考えられる。この場合、弁の開閉等の操作が必要になる。

【0011】本発明の目的は、冷却部の温度変化の振幅が小さく、かつ操作方法が簡単で安全性に優れた極低温冷凍機を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の極低温冷凍機は、ヘリウムガスを膨張させて寒冷を発生させる膨張室と、前記膨張室に圧縮されたヘリウムガスを供給するためのガス供給手段と、前記膨張室からヘリウムガスを排出するためのガス排出手段と、被冷却物を取り付ける冷却部に設けられた、内部にヘリウムガスまたはヘリウムガスと液体ヘリウムを収納する蓄冷手段と、前記ガス供給手段と前記蓄冷手段とを接続するヘリウムガス導入排出手段とを含む。

【0013】前記ヘリウムガス導入排出手段を介して、前記ガス排出手段と前記蓄冷手段とを接続してもよい。さらに、前記蓄冷手段に收容されたヘリウムガスの温度を測定するための温度測定手段と、前記ヘリウムガス導入排出手段の途中に設けられた減圧弁と、前記温度測定手段の測定結果が入力され、所定の温度に保持されるように前記減圧弁を制御するための制御手段とを含んでもよい。さらに、前記蓄冷手段に收容された液体ヘリウムの液面の高さを測定するための液面位測定手段を設け、前記液面位測定手段の測定結果を前記制御手段に入力し、液面が所定の高さに保持されるようにしてもよい。

【0014】本発明のさらに他の極低温冷凍機は、真空容器内に配置された膨張室内のヘリウムガスを膨張させて寒冷を発生させる極低温冷凍機において、膨張室に圧縮されたヘリウムガスを供給するためのガス供給手段と、前記膨張室からヘリウムガスを排出するためのガス排出手段と、被冷却物を取り付ける冷却部に設けられた、内部にヘリウムガスまたはヘリウムガスと液体ヘリウムを収納する蓄冷手段と、前記真空容器内に配置された、前記蓄冷手段の容積の少なくとも10倍以上の容積を持ち、内部にヘリウムガスを收容するヘリウムガス収

容手段と、前記ヘリウムガス收容手段と前記蓄冷手段とを接続するヘリウムガス導入排出手段とを含む。

【0015】

【作用】被冷却物を取り付ける冷却部にヘリウムガスまたは液体ヘリウムを收容した蓄冷手段を設けることにより、冷却部の温度変動を抑制することができる。

【0016】冷凍機の膨張室にヘリウムを供給し、または膨張室からヘリウムを排出するためのガス供給または排出手段と蓄冷手段とを接続することにより、装置外部にガス供給源を準備する必要がない。また、冷凍機停止時には、蓄冷手段からヘリウムガスが排出されるため、蓄冷手段内が高压になることを防止できる。

【0017】蓄冷手段にヘリウムガスを導入する配管に減圧弁を設け、蓄冷手段内の温度、または液体ヘリウムの液面の高さが一定になるように減圧弁を調整することにより、蓄冷手段内のヘリウムの一部を安定性よく液化することができる。液化することにより、熱量の増減が潜熱として使用されるため、冷却部の温度変化をさらに抑制することができる。

【0018】また、蓄冷手段の容積の少なくとも十倍以上の容積を持つヘリウムガス收容手段を蓄冷手段に接続することにより、冷凍機を停止したときに、蓄冷手段内のヘリウムガスをヘリウムガス收容手段に移動させることができる。ヘリウムガス收容手段の容積は蓄冷手段の十倍以上であるため、蓄冷手段及びヘリウムガス收容手段内のガス圧が高压になることを抑制できる。

【0019】

【実施例】図1～図4を参照して、本発明をギフォードマクマホンサイクルを利用した冷凍機（GM冷凍機）に適用した第1の実施例について説明する。

【0020】図1は、第1の実施例によるGM冷凍機の概略正面図である。なお、説明の都合上ハウジング部については、一部断面を示している。圧縮機20と冷凍機1が高压側配管2及び低压側配管3で接続されている。圧縮機20は、低压側配管3を介して冷凍機1からHeガスを排気し、圧縮して、高压側配管2を介して冷凍機1へHeガスを供給する。

【0021】冷凍機1の真空容器10内には、第1段蓄冷部11及び第2段蓄冷部12が直列に接続されて配置されている。第2段蓄冷部12の先端には冷却ステージ13が設けられている。冷却ステージ13には、Heポット15が密着して設けられている。

【0022】被冷却物16は、Heポット15に密着して保持され、冷却される。高压側配管2及び低压側配管3は、バルブ7とハウジング6中に形成されたガス流路4とを介して第1段冷却部11に接続される。バルブ7は、シャフト9によりモータ部8に接続されておりシリンダの往復運動に同期して第1段冷却部11と高压側配管2若しくは低压側配管3との接続切替えが行われる。

【0023】ハウジング6内には、常時、高压側配管2

に接続されるガス流路 5 が形成されている。ガス流路 5 は、He ガス導入用細管 17 及び第 1 段蓄冷部 11 と熱交換を行うためのサーマルアンカ 14 を介して He ポット 15 に接続されている。このようにして、高圧側配管 2 内のガス圧の He ガスが、サーマルアンカ 14 によって第 1 段蓄冷部 11 の温度まで冷却され、He ポット 15 に供給される。He ガス導入用細管 17 は、ステンレス等の熱伝導率の悪い材料で構成される。

【0024】He ポット 15 は、銅等の熱伝導のよい材料で構成される。内容積は用途に応じて数  $\text{cm}^3$  ～数百  $\text{cm}^3$  とする。図 2 (A) に示すように、He ポット内のガスと、冷却ステージとの熱交換の促進を図るために、He ポットの内部にフィン 18 を設けてもよい。また、フィンの代わりに溝を形成してもよい。

【0025】図 2 (B) に示すように、He ポット 15 と冷却ステージ 13 とを一体化構造にしてもよい。一体化構造にすることにより、冷却ステージ 13 と He ポット 15 との間で熱交換が促進される。一体化構造とせず He ポットと冷却ステージとを接着剤で接着する場合には、熱伝導率の大きい接着剤で取り付けることが好ましい。

【0026】図 3 は、第 1 の実施例による極低温冷凍機の冷却ステージ 13 の温度変化を示す。横軸は時間を単位秒で表し、縦軸は絶対温度を表す。曲線 p1 は He ポットを使用した場合の温度変化、曲線 q1 は He ポットを使用しない場合の温度変化を示す。He ポットを使用しない場合には、温度変化の振幅は約 0.47 K であるのに対し、He ポットを使用した場合の温度変化の振幅は約 0.03 K である。

【0027】図 4 は、第 1 の実施例による極低温冷凍機の冷却ステージ 13 の温度変化の振幅を示す。横軸は冷却ステージの絶対温度を表し、縦軸は冷却ステージの温度変化の振幅を単位 K で表す。曲線 p2 は He ポットを使用した場合、曲線 q2 は He ポットを使用しない場合の温度変化の振幅を示す。

【0028】He ポットを使用しない場合の温度変化の振幅は、冷却ステージの温度が 2 K ～ 16 K の範囲で 0.2 K 以上であり、冷却ステージの温度が約 10 K のとき極大値約 1 K となる。He ポットを使用した場合の温度変化の振幅は、冷却ステージの温度が 2 K ～ 16 K の範囲で 0.15 K 以下であり、特に冷却ステージの温度が 4 K 近傍では 0.1 K 以下である。

【0029】このように、He ポットを使用することにより、冷却ステージの温度変化を抑制することができる。第 1 の実施例による極低温冷凍機は、従来の極低温冷凍機に He ガス導入用細管 17 と He ポット 15 を追加しただけの簡単な構成であり、低コストで実現できる。さらに、調整弁等の操作を必要とする部分がないため、従来の極低温冷凍機と同様の操作で運転することができる。

【0030】極低温冷凍機を停止すると、冷却ステージ 13 が徐々に室温に戻る際に、He ポット 15 から高圧側配管 2 にガスが戻される。このため、He ポットに数百気圧といった高い圧力が印加されることがなく、特別な圧力管理の必要もない。

【0031】He ポット 15 内の容積は、圧縮機 20 のガス容積の数百ないし数千分の一しかない。そのため、He ポットが冷却されて内部のガス圧が低下し、圧縮機内のガスが He ポット内に導入されて、He ポット内のガス量が数十倍に増加したとしても圧縮機や冷凍機に対する影響はほとんどない。

【0032】図 5 は、本発明の第 2 の実施例による極低温冷凍機を示す。He ガス導入用細管 17 は、ハウジング 6 に形成されたガス流路 5a を介して第 1 段蓄冷部 11 からガスを排気するための低圧側ガス流路 26 に接続されている。低圧側ガス流路 26 は、フランジ 19 に設けられたガス流路を介して低圧側配管 3 に接続されている。その他の構成は、図 1 の第 1 の実施例と同様である。このように、第 1 の実施例では、He ガス導入用細管 17 は高圧側配管 2 に接続されていたが、第 2 の実施例では低圧側配管 3 に接続されている。

【0033】図 8 に示すように、温度 4 K 近傍での He の比熱は、圧力依存性が少ないため、第 2 の実施例に示すように低圧側配管から He ポットにガスを導入しても第 1 の実施例と同様の効果が期待できる。

【0034】図 6 は、本発明の第 3 の実施例を示す。真空容器 10 内の高温側に高温バッファ 21 が設けられている。高温バッファ 21 と He ポット 15 は He ガス導入用細管 17 及びサーマルアンカ 14 を介して接続され、気密空間とされている。その他の構成は、図 1 の第 1 の実施例と同様である。

【0035】He ポット 15 が冷却されると、内部のガス圧が低下し高温バッファ 21 から He ガスが導入される。極低温冷凍機が停止し He ポット 15 が室温に戻されると、He ポット 15 内の He ガスは高温バッファ 21 に戻される。高温バッファ 21 の容積が He ポット 15 の容積の 10 倍以上、好ましくは数十倍であれば、冷凍機停止時の保存圧力を十数気圧以下にすることが可能である。従って、極低温冷凍機を停止した場合でも、He ポットに高圧力が加わることがない。

【0036】図 7 は、本発明の第 4 の実施例を示す。He ポット 15 には、高圧側配管 2 からバルブ 24 を介して分岐した He ガス導入用細管 17 及びサーマルアンカ 14 を介して He ガスが導入される。He ポット 15 には、温度計 22 が設置されており、測定結果が制御装置 23 に入力される。制御装置 23 は、He ポット 15 内の温度が所定の温度になるようにバルブ 24 を制御する。

【0037】その他の構成は、図 1 の第 1 の実施例と同様である。He ポット 15 の容積は一定であるため、内

7

部のHeガスの温度を測定すれば圧力を求めることができる。従って、バルブ24を調整することにより、Heポット15内の圧力を所定値に保つことができる。

【0038】Heは、2.5気圧以上になると、超臨界になり温度を下げても液化しなくなる。バルブ24を調整してHeポット15内の圧力が2.5気圧以下になるように制御することにより、Heポット15内のHeを液化させることができる。Heポット15内のHeの一部が液化すれば、熱量の変化は潜熱として使用され温度変化として現れないため、さらに温度の安定性を高めることができる。

【0039】さらに、Heポット15内のHeの液化量を測定するための液面位計25を設置してもよい。液面位計は、例えば液体He温度で超伝導状態になる金属を使用した超伝導線をHeポット15内に垂直に配置して構成できる。液体Heに浸漬した部分は超伝導状態になるため電気抵抗は0になり、液面から上部の部分は常伝導状態の電気抵抗を示す。従って、その電気抵抗を測定することにより液面の高さを求めることができる。

【0040】液面位計25の出力は制御装置23に入力される。制御装置23は、Heポット15内の温度、及び液面の高さが所定値になるようにバルブ24を制御する。Heポット15内のHeの液化が始まると、その後温度は殆ど変化しなくなり、温度を基準とした制御が困難になる。しかし、上記のように、Heポット15内のHeの液化量が一定になるように制御することにより、安定してHeポット15内の温度を制御することができる。

【0041】上記実施例では、GM冷凍機に適用する場合について説明したが、動作ガスとしてヘリウムを使用する冷凍機であればその他の冷凍機にも適用可能である。例えば、スターリング冷凍機等にも適用可能である。

【0042】以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明であろう。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、装置構成及び運転操作を複雑にすることなく、極低温冷凍機の温度変動を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例による極低温冷凍機の一

8

部断面を含む正面図である。

【図2】本発明の第1の実施例による極低温冷凍機のヘリウムポットの断面図である。

【図3】本発明の第1の実施例による極低温冷凍機を使用した場合の冷却部の温度変化を示すグラフである。

【図4】本発明の第1の実施例による極低温冷凍機を使用した場合の冷却部の温度に対する温度変化の振幅を示すグラフである。

【図5】本発明の第2の実施例による極低温冷凍機の一部断面を含む正面図である。

【図6】本発明の第3の実施例による極低温冷凍機の正面図である。

【図7】本発明の第4の実施例による極低温冷凍機の正面図である。

【図8】Cu、Al、Heの温度に対する比熱の変化を示すグラフである。

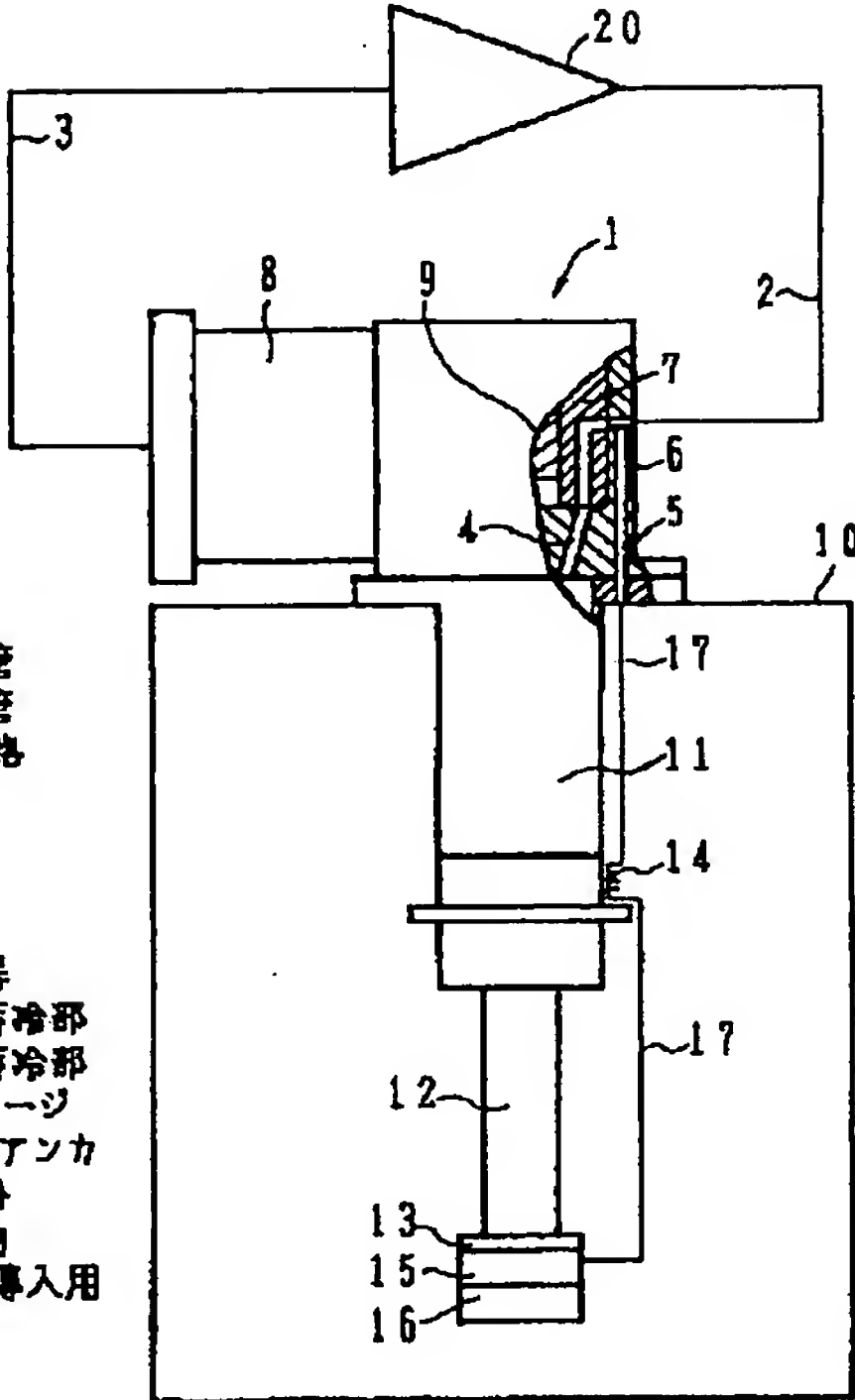
【符号の説明】

- 1 冷凍機
- 2 高圧側配管
- 3 低圧側配管
- 4、5、5a ガス流路
- 6 ハウジング
- 7 バルブ
- 8 モータ部
- 9 シャフト
- 10 真空容器
- 11 第1段蓄冷部
- 12 第2段蓄冷部
- 13 冷却シテージ
- 14 サーマルアンカ
- 15 Heポット
- 16 被冷却物
- 17 Heガス導入用細管
- 18 フィン
- 19 フランジ
- 20 圧縮機
- 21 高温バッファ
- 22 温度計
- 23 制御装置
- 24 減圧弁
- 25 液面位計
- 26 低圧側ガス流路



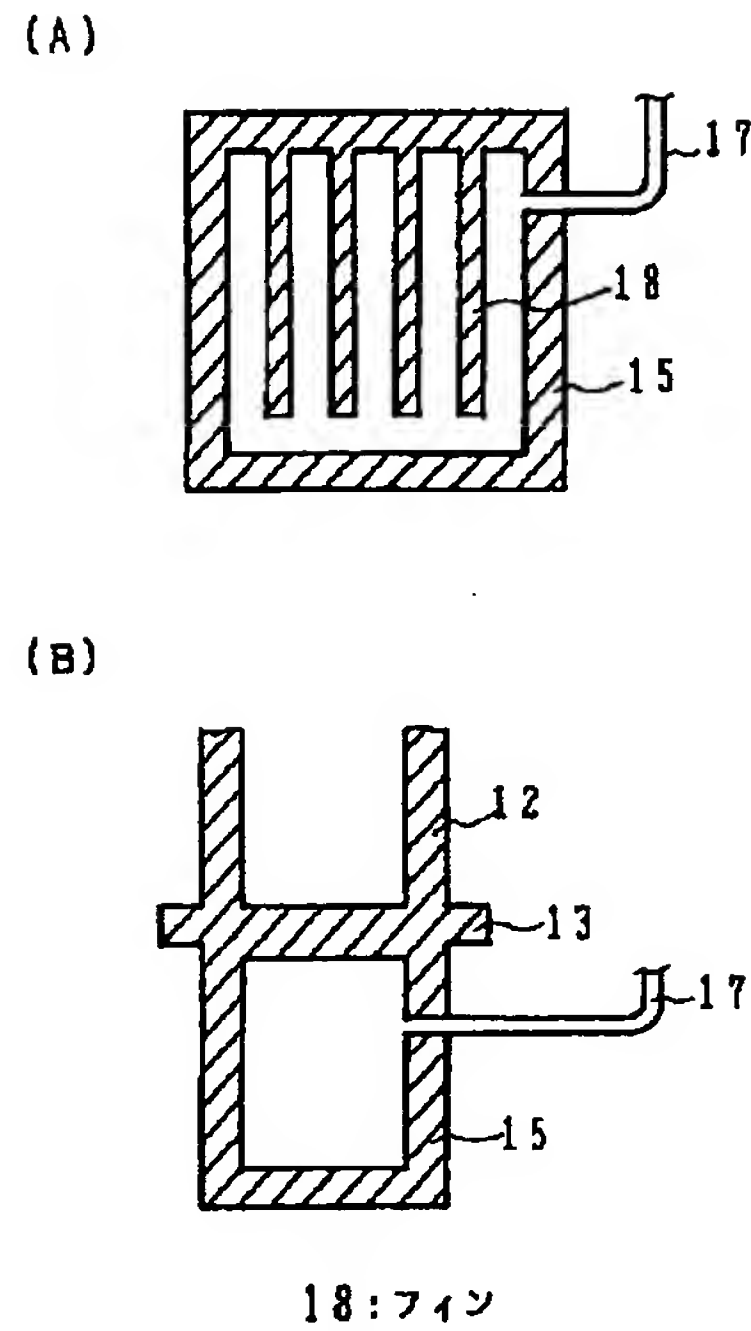
【図 1】

## 本発明の第 1 の実施例



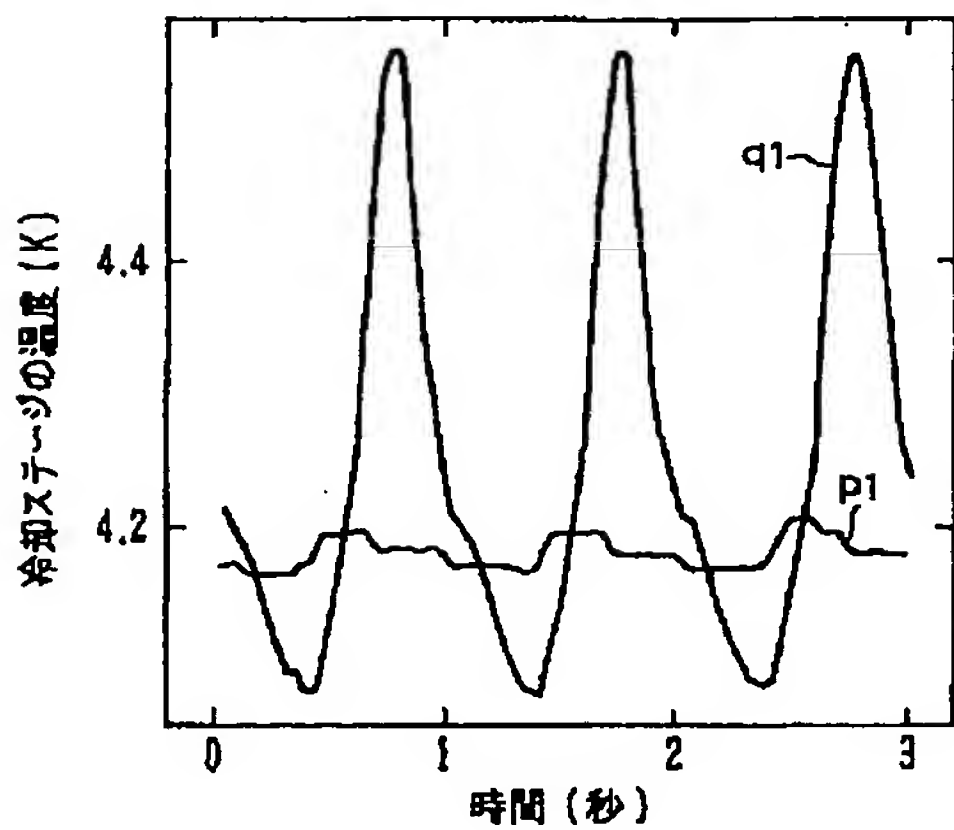
【図 2】

ヘビボット



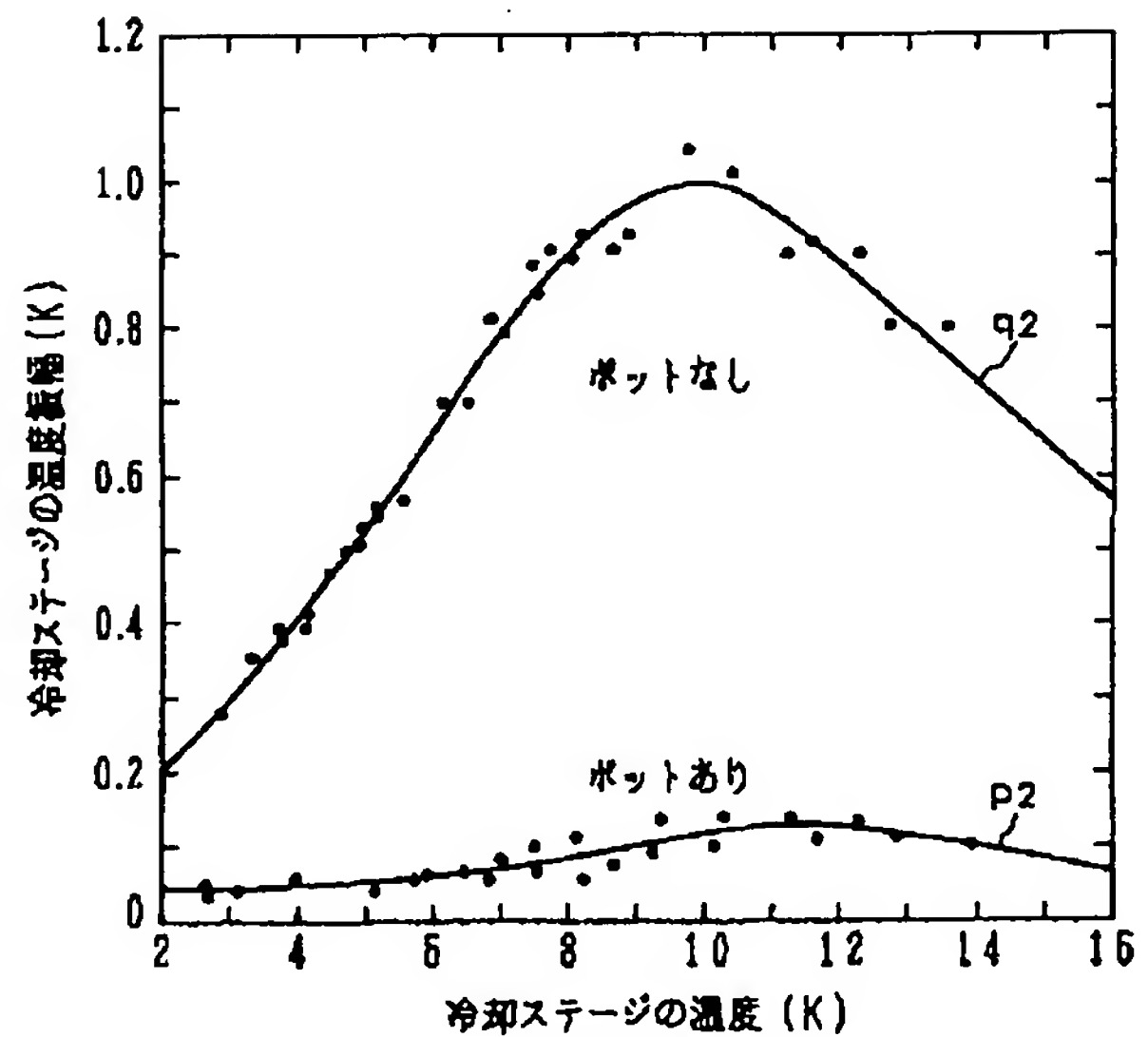
【図 3】

### 第1の実施例における温度変化



【図 4】

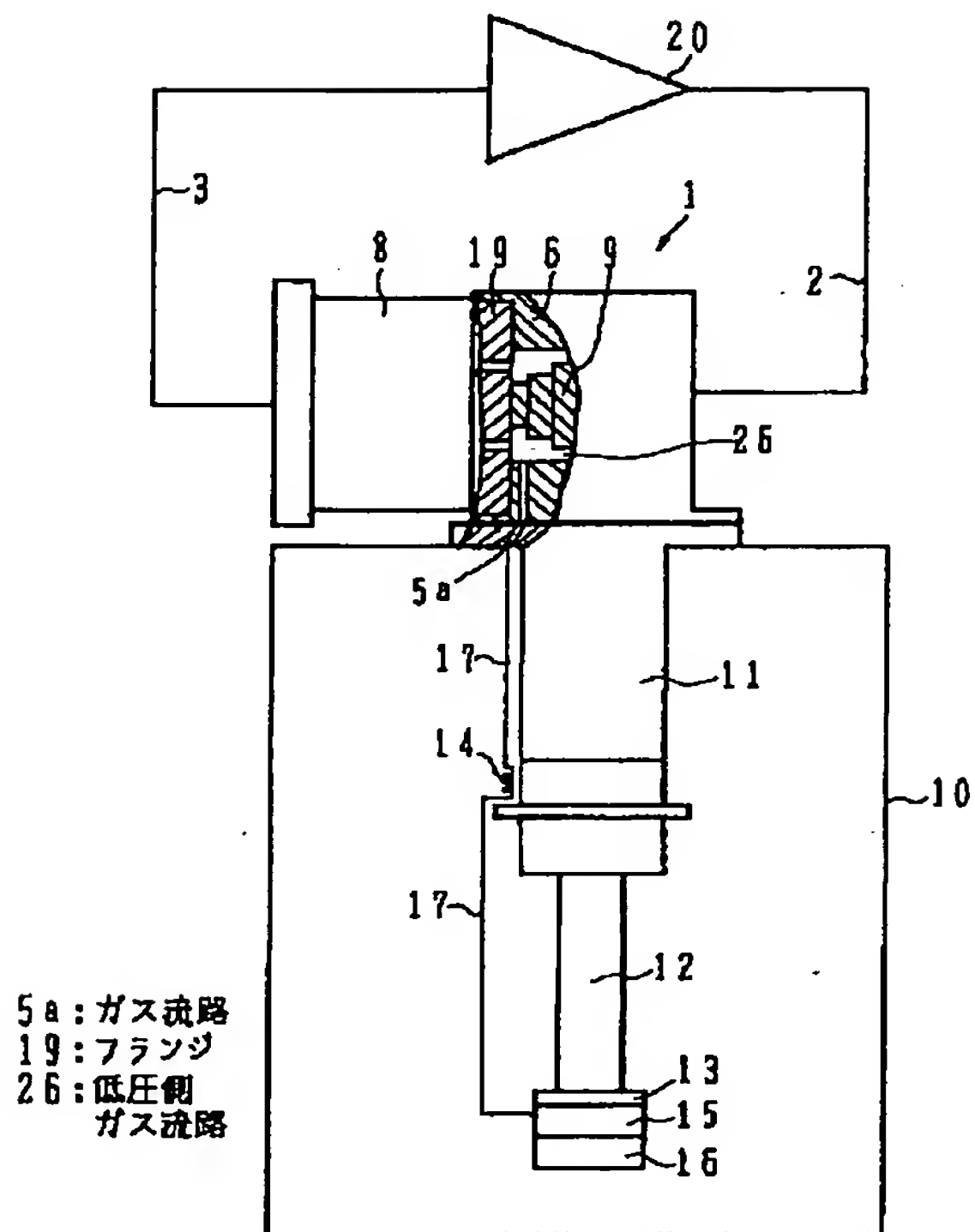
### 第1の実施例における冷却ステージの温度振幅





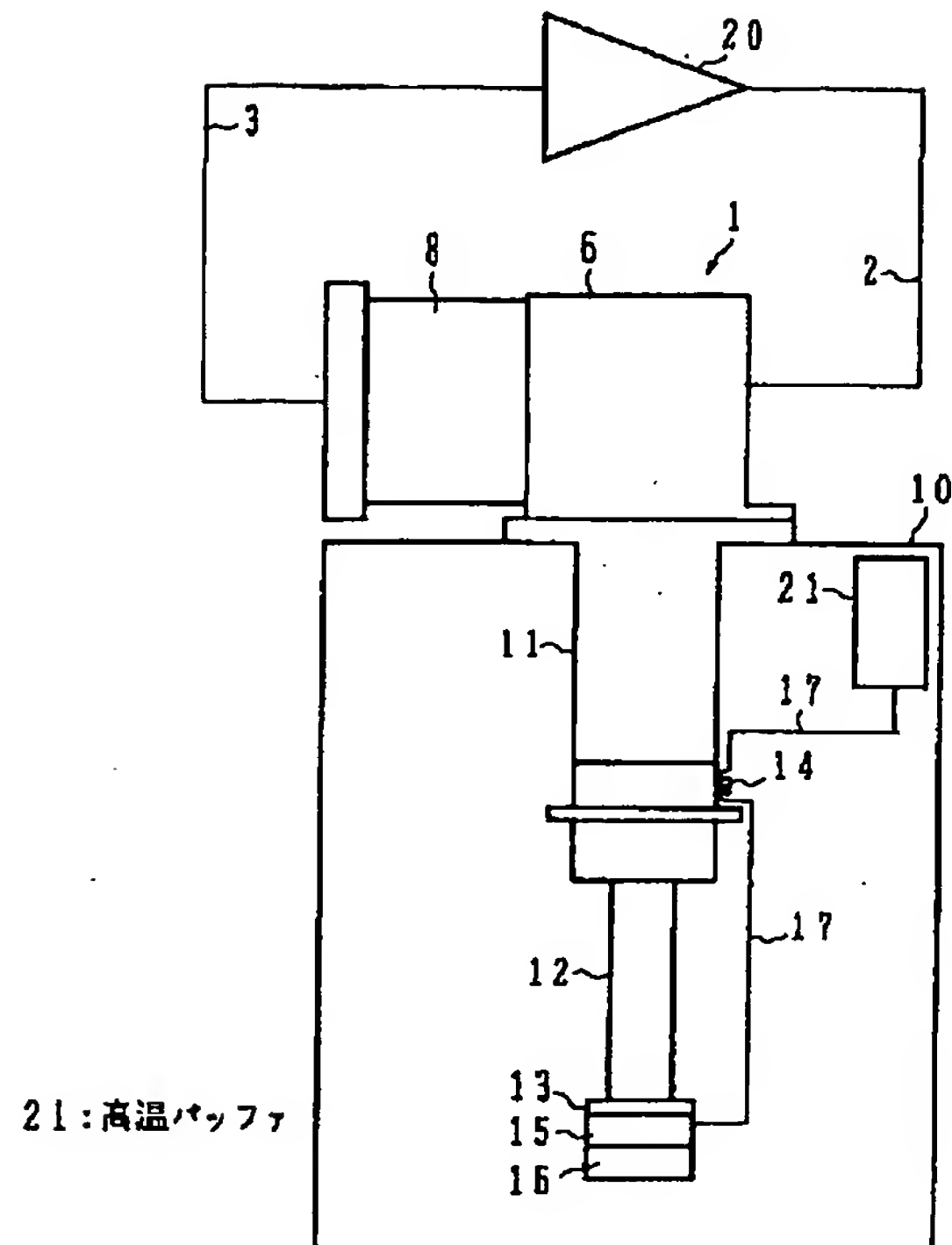
【図5】

本発明の第2の実施例



【図6】

本発明の第3の実施例



【図8】

比熱の温度変化

